玉米各生育期所吸收氮素之行動與子實生產之關係[1]

連　深　張庚鵬[2]

摘要：應用^{15}N標識氮肥（硝酸銨）以水耕盆栽試驗探討玉米各生育期氮素吸收速率及追蹤所吸收氮素在植株各部之分布、再移動與子實生產之關係。

1. 氮素之吸收速率依生育之進展而增，而以吐絲期達到最高。吐絲期以後之吸收速率雖逐漸下降，但仍持續至玉米糊熟期；糊熟期前後之氮素吸收速率仍達吐絲期之五分之一左右。
2. 吐絲期以前所吸收氮素主要分布於吸收時生長中之葉片和稈節；吐絲期以後此等氮素之一部份再轉移於穗部。此種吐絲期前一度儲積莖葉而於吐絲後轉移谷中之氮素約佔原吸收量之33%。
3. 自吐絲至吐絲後約2週期間所吸收之氮素最有效運積於谷中，達原吸收量58～67%。
4. 糊熟期氮素吸收速率雖減，仍可看到其有效運積谷中。但其分布比率已較吐絲期減低，爲原吸收量之46%。
5. 以上結果顯示吐絲期前後約3週期間之氮素吸收對谷粒之充實非常重要；該期間之玉米不但吸收能力強，且有效轉移谷中。一般田間試驗結果亦常印證吐絲直前之氮素追肥較其前期所施基、追肥能有效增加子實產量，可謂符合。

糊熟期前後所吸收氮素仍可顯著轉移谷中，但其殘留莖稈和根之比率卻較吐絲期所吸收者增加。

關鍵詞：玉米、標識氮肥、吸收與分布、子實生產。

水稻自播種至收穫之任何生育時期均可吸收氮素，但就各生育期吸收之氮素對稻谷之生產效率而言，則以有效分蘗期和幼穗形成期所吸收者較大（木村1943，Singh et al. 1963，Ishizuka 1980），故爲稻谷增產，有效分蘗期之施肥（包括基肥）和穗肥（幼穗長達 1 ～ 2 ㎜時）之適當施用甚爲重要。實際上二者配合之施肥方式在水稻肥培上已廣爲採用。

有關玉米之營養生理研究較水稻甚少。據報告玉米生育過程中雌穗抽絲期以前所吸收之氮素僅佔全吸收量之40～50%（Hanway 1962，田中1969），可見雌穗吐絲以後至成熟的子粒充實期間玉米仍需多量氮肥的供給，此點與水稻差異甚大。玉米子粒充實期間之葉片光合成速率係受該期間氮素的供應及子粒的氮素儲能（sink capacity；氮聚合爲 zein 的速率）所限制（Tsai et al. 1978，Tsai et al. 1984）。玉米子粒充實期間，氮素供應能力（the capacity of the plant to supply N to the ear）之影響大於葉片光合成能力（the capacity of the plant to provide photosynthate to the ear）之影響(Below et al. 1981)。故該期間氮素的不斷吸收供應對於子粒胚的正常發展(adequate and normal embryo development）甚爲重要；高產品種在子粒充實期間有持續的氮素吸收，故葉片光合成能力得以持久維持（Swank et al. 1982），可見子粒充實期間的氮素吸收甚爲重要。但另據石塚等（1967），玉米生育過程中雌穗吐絲期以後的子粒充實期間，稈葉的乾物重仍在增加，即仍有營養生長進行，故過多的氮素營養對子粒的充實亦有不利。岩田（1972）亦有類似報告。

---

1. 臺灣省農業試驗所研究報告第 1564 號。本研究承國科會經費（NSC 75－0409－13055－06）補助，謹此致謝。
2. 本所農化系研究員及助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

玉米之施肥方法，一般係以磷之全量及氮鉀肥之各半量爲基肥之各半量爲基肥，餘各半量氮鉀肥則於玉米膝高期追施；亦有以磷肥之全量及氮鉀肥之各1／3量爲基肥，餘2／3量氮、鉀肥於膝高期及雄穗抽出期分施者。一般基肥係淺施於播種溝旁，追肥亦屬淺施。惟據初步試驗結果（連等1988，連1988），以肥料用量之半量在播種時深施於種子下20～25公分處者，可顯著促進生育後期（即吐絲期～成熟）之養分吸收，增進該期間之葉片純同化率而有利於產量之增進。

由以上可見玉米子粒充實期間之氮素持續吸收可能非常重要，但文獻中相互矛盾或不明處仍多。故爲尋求最有效之施肥方法，各生育期間所吸收氮素之營養生理意義有加以探討必要。本研究以水耕方法栽培玉米，並於各特定生育期間以標識氮素（^{15}N）替代普通氮素使作物吸收，以追蹤各生育期所吸收氮素在植體各器官之運移分布，以明其與子實生產之關係。

材料及方法

以水耕法栽培臺農351號玉米。栽培盆爲48公升桶型塑膠盆（上下直徑各爲38及32公分、高50公分）。種子先於蛭石床育苗，俟三葉期才移植於盆蓋中心所開的小孔上（每盆一株），並以塑膠棉適當固定植株（玉米長高後更以鐵架支持）。盆內灌滿培養液並予通氣。此等塑膠盆排置於空地上，行株距各爲110及45公分。

標準的培養液組成爲：每公升含 NH_4NO_3 114mg，$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ 50.6mg，K_2SO_4 87.5mg，$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 406mg，$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 111mg，$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 19.3mg，$MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 3.7mg，$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 0.09mg，H_3BO_3 1.17mg，$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.08mg，$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.04mg 及 $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ 70mg。其所含各種要素之濃度爲：N 40ppm，P 10ppm，K 40ppm，Mg 40 ppm，Ca 40ppm，Fe 4ppm，Mn 1ppm，Mo 0.05ppm，B 0.2ppm，Zn 0.02ppm，Cu 0.01 ppm 及 Si 9.3ppm。此種培養液與 Yoshida 氏等使用於水稻栽培者大致相同。

1. 試驗處理

以標準培養液栽培玉米至收穫期（但自種子萌芽至後2週期間濃度減半，收穫前約10天期間則不供給氮素）。在下列各特定生育期間以$^{15}NH_4{}^{15}NO_3$（5.14atom %）代替培養液中的普通 NH_4NO_3。^{15}N處理後以原培養液繼續栽培。

(a)V_{8-11}；即第8～11葉期，相當於種子發芽後21～30天期間。本試驗中所稱第8葉期（V_8）係第8葉完全展開的時期（其他類推）。

(b)V_{16-T}；即自第16葉期至雄穗抽出期間，相當於種子發芽後40～47天期間。臺農351號每株葉片共有18片；迄第11葉爲止，每片出葉期間約爲2.6天，自11至18葉期間，每片出葉期間約爲1.9天，故全部出葉期間約爲42天。

(c)R_{1-2}；自吐絲至 Blister Stage 期間，相當於種子發芽後51～58天或自吐絲至吐絲後7天期間。

(d)R_{2-3}；自 Blister Stage 至 milk Stage，相當於種子發芽後62～68天或自吐絲期後11天至17天期間。

(e)R_{4-5}；自 Dough Stage 至 Dent Stage；相當於種子發芽後85～96天或自吐絲期後34天至45天期間。

以上玉米各生育期之命名均依據 Hanway（1962）報告。種子發芽日期爲74年9月18日，成熟（收穫）期爲75年1月6～16日，即總生育日數爲110～120天。

2. 植株之採取及調查測定

處理(a)於^{15}N處理結束後當天、吐絲期及成熟期，處理(b)於^{15}N處理後 3 天（吐絲期）及成熟期，其他各處理亦於^{15}N處理結束後當天及成熟期，各採植株 2 株（即 2 盆），分莖、葉、根、支持

根、雄穗和雌穗（成熟期雌穗更分為子實和其他）各部份，測定乾物重、全氮含量和^{15}N之富含量以計出各部份之^{15}N含量。各項測定值均為二重覆（株）之平均。

全氮之測定；使用 Kjeldahal 法分解後以 Conway 法擴散，並滴定收集之氨。依據Peterson and Chesters（1963），植體中硝酸態氮含量如果不高（不高於2500 ppm），則使用 Kjeldahal 即可實際上測定全氮含量。玉米各器官中之硝酸態氮含量以莖稈較高，並與氮素用量有關，但本試驗中都在1,400ppm 以下。

^{15}N 富含量之測定；上述滴定後之氨液再以 Conway 法擴散，將氨收集於 2 c.c. N硫酸液，再經 Dumas 法轉變為 N_2 後以質譜儀（Winford Micromass 622型）測定$^{15}N/^{14}N$原子比，以求得^{15}N含量（^{15}N atom%）。^{15}N含量減去植體中之^{15}N自然含量則為^{15}N富含量（^{15}N atom excess %）。

結　果

1. 玉米乾物生產及氮素吸收經過

生育期間植株各部份乾部物之累積情形如圖 1 。由該圖可見本試驗中之玉米生長及生育期進展均甚迅速；種子發芽後51天即進入吐絲期，較本所田間同時期栽培者約提早一星期，而生長情形亦較良好；其平均每株全乾物重及谷重各為740及281公克。此固與本試驗之栽植密度較寬有關，但本試驗水耕液中之根環境較田間土壤中之根環境良好可能亦是一因，示後者有環境改善之餘地。

該圖亦示自玉米吐絲（即開花授粉）至成熟約65天期間之乾物量增加甚大，而該期間乾物量之增加主要係與穗部乾物量之增加一致。

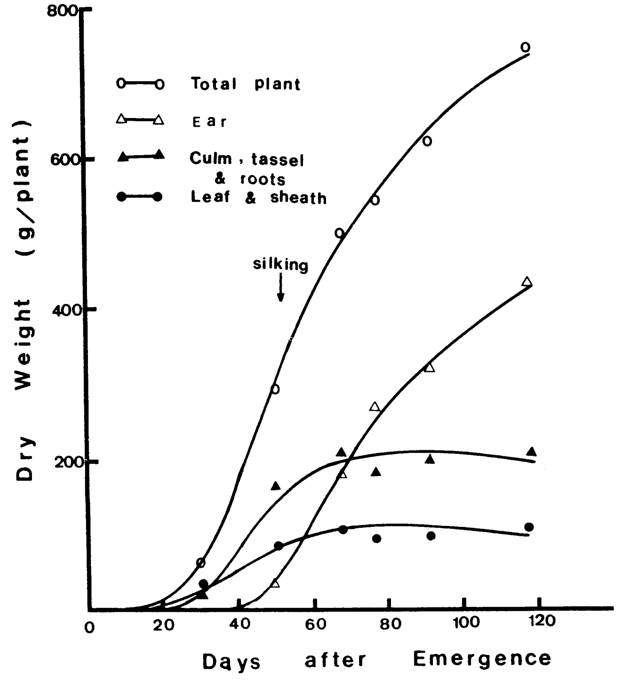

圖 1 . 玉米生育期間植株各部份乾物之累積情形
（臺農351號，水耕，1985秋作）

Fig 1. Dry matter accumulation in different parts of maize plant in relation to the stages of growth.

由圖 2 氮素吸收曲線可見氮素吸收速率依生育之進展而增，而於吐絲期達最高；吐絲期以後吸收速率雖然逐漸下降，但仍持續到玉米糊熟期；糊熟期前後之氮素吸收速率仍達吐絲期之約五分之一。是故，自吐絲至成熟期間之氮素吸收量仍然很大，佔總吸收量之48%，而該期間氮素吸收量之增加亦與穗部氮素量之增加情形大致相似。氮素總吸收量之各56或47%係分佈於穗或子實中。可見吐絲期～成熟期間氮素吸收和乾物生產對子實生產之重要性。

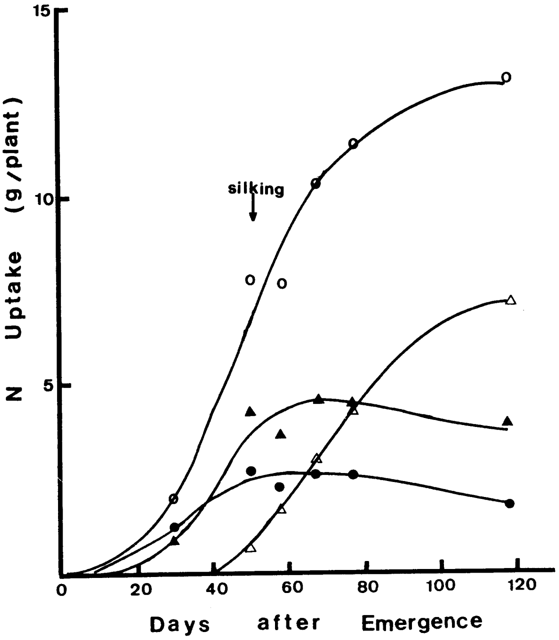

圖 2． 玉米生育期間之氮素吸收及植株各部份之分布情形
（臺農351號，水耕，1985秋作）
Fig 2. Nitrogen uptake and its distribution among plant parts of maize in relation to the stage of growth

以上玉米之生育經過與水稻有很大的差異；水稻在抽穗開花後之氮、磷吸收甚爲有限，而玉米則反之。此亦是玉米氮肥效應較大，並須注重生育後期之氮素營養之原因。

2. 各生育所吸收氮素之行蹤及在子實中之分布

吐絲期以前所吸收氮素主要分布於吸收時生長中之葉片和稈節；吐絲期以後此等氮素之一部份再轉移於穗部。此種吐絲期前一度儲積莖葉而於吐絲後轉移子實中之氮素約佔原吸收量之33～51%，而以愈近吐絲期吸收者，其往子實分配的比率愈高（表 1 及 2）。

自吐絲至吐絲後約2週期間所吸收之氮素最有效運移於谷中，達原吸收量之58～67%（表3）。此種現象顯然與水稻有很大差異；水稻在出穗後殆無氮素之吸收，即使吸收亦多殘留於藁稈中而很少運移於穗部。

糊熟期（吐絲期後34天）氮素吸收速率雖減，仍可看到其有效運移谷中。但其分布比率已較吐絲期減低，爲原吸收量之46%（表3）。

表 1. 第8～11葉（V_{8-11}）期間[1]玉米所吸收標識氮素在子實發育過程中玉米植株各部之分布[2]（臺農351號，1985秋作，水耕）

Table 1. Amout and percentage distribution of ^{15}N absorbed during the 8th-11th leaf stage among plant parts of maize during grain development. (Tainung 351, 1985 fall crop, water culture).

部位 Plant part	採樣時期 (Time of sampling)					
	^{15}N 處理即後 Immediately after N treament		吐絲期 Silking		成熟期 Maturity	
	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%
Grain	—	—	} 3.2 (1.4)	} 4.6 (1.8)	20.3 (0.2)	32.7 (0.5)
Husk, cob & shank	—	—			4.5 (0.1)	7.2 (0.4)
Leaf blade & sheath	36.6 (0.8)	56.6 (5.1)	32.6 (2.2)	47.9 (0.7)	15.0 (2.0)	24.1 (2.6)
Culm & tassel	17.8 (5.3)	26.7 (7.2)	24.2 (3.6)	35.4 (3.4)	14.4 (0.8)	23.2 (1.9)
Brace roots	—	—	5.5 (1.6)	8.2 (2.8)	5.8 (0.7)	9.3 (0.9)
Roots	10.9 (1.2)	16.7 (0.05)	2.6 (2.0)	4.0 (3.1)	2.2 (0.4)	3.5 (0.7)
Total	65.3 (7.3)	100	68.1 (3.5)	100	62.2 (1.7)	100

1)本試驗中第8及11葉期各相當於種子萌芽後21及30天，故^{15}N 處理期間共爲9天。
2)全部數據均爲2重覆平均，括弧內數據爲平均值之標準機差。

表 2. 第16葉～雄穗抽出（V_{16-T}）期間[1]所吸收標識氮素在子實發育過程中玉米植株各部之分布[2]。

Table 2. Amout and percentage distribution of ^{15}N absorbed during the 16th leaf～tasseling stage among plant parts of maize during grain development.

部位 Plant part	採樣時期 (Time of sampling)			
	吐絲期 Silking		成熟期 Maturity	
	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%
Grain	} 13.6 (2.8)	} 18.9 (3.6)	30.9 (0.8)	51.1 (2.6)
Husk,cob & shank			7.2 (0.5)	11.9 (0)
Leaf blade & sheath	16.4 (0.7)	23.1 (0.7)	5.9 (0.5)	9.9 (1.4)
Culm & tassel	23.2 (1.0)	32.7 (2.1)	11.0 (2.6)	18.1 (3.2)
Brace roots	6.3 (1.9)	9.0 (2.8)	3.8 (0.4)	6.2 (0.3)
Roots	11.7 (1.5)	16.3 (1.8)	1.7 (0.1)	2.9 (0.3)
Total	71.2 (1.9)	100	60.5 (3.6)	100

1)本試驗中第16葉期和雄穗抽出期各相當於種子萌芽後40及47天，故^{15}N 處理期間共爲7天。
2)吐絲期及成熟期數據各爲3及2重覆平均，括弧內數據爲平均值之標準機差。
3)吐絲期時適種子萌芽後51天，故相當於^{15}N處理終止後第3天。

表 3. 玉米抽絲期後各期[1]（R_{1-2}，R_{2-3}及R_{4-5}）所吸收標識氮素在子實發育過程中植株各部之分布[2]。

Table 3. Amout and percentage distribution of ^{15}N absorbed during R_{1-2}, R_{2-3} and R_{4-5} stages among plant parts of maize during grain development.

Growgh stages ^{15}N was treated	R_{1-2} Silking～Blister				R_{2-3} Blister～Milk				R_{4-5} Dough～Dent			
Time of sampling	Soon after ^{15}N treatment		At maturity		Soon after ^{15}N treatment		At maturity		Soon after ^{15}N treatment		At maturity	
	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%	^{15}N mg	%
Grain	8.5 (0.4)	25.1 (3.4)	21.7 (1.5)	58.4 (2.9)	11.6 (1.5)	25.7 (3.0)	28.1	67.2	10.6 (3.6)	29.5 (6.0)	7.9 (3.9)	46.1 (1.3)
Husk, cob & shank			4.3 (0.6)	11.4 (0.2)			3.6	8.6	1.6 (0.01)	4.6 (0.7)	0.5 (0.3)	2.6 (0.7)
Leaf blade & sheath	6.2 (0.8)	18.1 (0.5)	2.8 (0.1)	7.6 (1.2)	8.9 (0.3)	19.8 (0.5)	2.8	6.6	4.3 (0.7)	12.3 (0.1)	1.3 (0.8)	6.9 (1.6)
Culm & tassel	7.6 (1.1)	22.0 (1.2)	5.5 (1.3)	14.5 (1.8)	9.6 (0.4)	21.5 (1.2)	4.9	11.7	8.4 (1.9)	23.7 (2.1)	3.0 (1.9)	16.4 (3.1)
Brace roots	2.7 (1.8)	7.6 (4.6)	1.9 (0.9)	5.0 (1.7)	2.6 (0.5)	5.7 (1.0)	1.5	3.5	3.7 (1.5)	10.2 (2.7)	1.6 (0.1)	12.6 (6.4)
Roots	9.3 (0.1)	27.3 (2.9)	1.2 (0.3)	3.2 (0.3)	12.4 (1.4)	27.5 (3.3)	1.0	2.5	6.4 (2.5)	19.8 (10.1)	2.6 (1.3)	15.4 (0.1)
Total	34.3 (3.3)	100	37.4 (4.3)	100	45.0 (0.51)	100	41.8	100	34.9 (5.2)	100	17.0 (8.0)	100

1) R_{1-2}，R_{2-3}，R_{4-5}各生育期說明，詳於材料與方法。
2) 全部數據均為 2 重覆平均。

(1)第8—11葉期所吸收氮素在植株各部之分布與再分布

本試驗中第8葉完全展開期～第11葉完全展開期（以下簡稱第8葉期～第11葉期）在種子萌芽後21～30天間，正值第9葉以上葉片及一些有關的稈節（多在基部）陸續伸長的時期。

由表1可見該期間所吸收氮素之主要部分（57%）係分布於葉片（含葉鞘，以下同），而各葉位的葉中又以伸長中的（第12葉以上葉位）葉片為最多。分配於稈節和根部的份量亦相當多，達總吸收量之各27及17%。

在第11葉期至雄穗抽出期（V_{11-T}）的3週期間，此原分布於植株各部的^{15}N 仍有持續性的再移動現象。而就植株各部而言，葉部和根部在該期間各減少8.7及12.7%，稈節、雄穗和支持根各增加8.7，4.6及8.2%；減少與增加之^{15}N量大約相同，顯示葉部和根部一度蓄積的^{15}N有繼續流入生長中的稈節，雄穗和支持根跡象（就各不同位置葉片而言，亦有^{15}N由下而上運移、再分配於該期間伸長中葉片的現象）。

在吐絲期～成熟期（R_1～R_6）的子粒成熟期間（約60～70天），此等葉部的^{15}N有更顯著的移出現象（減少23.8%），而莖稈部亦有顯著的移出（減少12.2%），二者合計有36%流出。反之，該期間雌穗部分，尤其是子粒中則有顯著的^{15}N流入(增加35.3%)；流出與流入大約相同。故V_8-V_{11}期間所吸收之氮素經過分配與再分配，最後在成熟期有總吸收量之33%分布於子實。

(2)第16葉期～雄穗抽出期（V_{16-T}）所吸收氮素之行蹤

本試驗中第16葉期～雄穗抽出期適種子萌芽後40～47天期間，正值第17及18葉（止葉）以及雄穗與雌穗伸長期間，故該期間所吸收氮素在其吸收後第3天（接近於抽絲期R1），葉部、雄穗和雌穗各部的分布均甚顯著（表2），各達總吸收量之23，33及19%，即以雄穗（包括稈節）最多。該期間所吸收氮素仍有16%分布於根部，且另有9%分布於氣根。

此等氮素在玉米成熟期間（即R_1～R_6）亦有顯著的再移動現象；即葉片，莖稈（包括雄穗

）及根部各有13，15及13%（合計41%）之^{15}N流出而同期間雌穗中則有44%之^{15}N流入。可見吐絲期前所吸收同化之氮素在玉米成熟期間之再移動甚爲顯著，對於子實生產之貢獻相當大。

可見 V_{16-T} 期所吸收氮素因接近吐絲期（雌穗生長期），所吸收氮素不但於吸收後有相當大部分（18.9%）分布於雌穗部，且由於吐絲期後葉片、莖稈及根部^{15}N之再移動流入，故成熟期雌穗中^{15}N之含量達原吸收量63%，而子粒中之含量亦達原吸收量之51%。

(3)抽絲期（R_1）後各期（R_{1-2}，R_{2-3}及R_{4-5}）所吸收氮素之行蹤

本試驗所稱之 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 各期係依據 Ritchies and Hanway（1984），爲 silking, blister, milk, dough, dent 及 physiological maturity 各期。故 R_{1-2}係指自吐絲期至 Blister stage 期間；在本試驗中適種子萌芽後51～58天間，或自吐絲至吐絲後7天期間。R_{2-3} 係自 Blister stage 至 milk stage 期間；在本試驗中適種子萌芽後62～68天或自吐絲期後11天至17天期間。R_{4-5} 係自 Dow stage 至 Dent stage 期間；在本試驗中適種子萌芽後85～96天，或自吐絲後34天至45天期間。

由表3可見 R_{1-2} 及 R_{2-3} 各期間所吸收氮素往穗部移動堆積之現象較其前後任何生育期所吸收氮素均爲顯著，各達總吸收量之70及76%；在子實中之分布亦各達總吸收量之58及67%。此等於 R_{1-2} 或 R_{2-3} 期間所吸收氮素亦於吸收後立即全部輸送於雌穗；其相當大的部分仍係一度暫存於葉片、莖稈及根部，然後持續的再移動堆積於雌穗，而最後於 R_6（完熟）期在子實中有如上大量的分布。

R_{4-5} 期雖屬子粒成熟期間的後期（R_4爲糊熟期），該期間所吸收氮素最後累積於完熟期穗部者仍達總吸收量之49%，其累積於子實中者則達46%，可見玉米生育後期之氮素吸收仍對子實生產有很大貢獻。惟該期間所吸收氮素中殘留於莖稈和根部者亦較其前期吸收者相對的增加。此等殘留於莖稈之氮素是否會導致植株呼吸消耗之增加，而對乾物生產不利，尚待探討。

討　　論

依據 Tanaka et al（1984），植物的收量可以下列各式表示：

$$Y = N(plant) \cdot Ne = N(plant) \cdot HI(N)/N\%(HO)$$

Y；植物收量（kg/ha）

N(plant)；植物在全生長過程的氮素吸收量（N kg/ha）。

NE；單位氮素吸收量可生產的植物收量（kg/ha），即吸收氮素的生產效率。

HI(N)；氮素的收穫指數（Harvest Index of N），即收穫器官（例如玉米子實）中之氮素含量對全植物體中氮素含量之比率。

N%(HO)；收穫器官（Harvest Organ）之氮素含有率（%）。

以玉米而言，因一般 N %（HO）變異不大，故 NE 的變異實際上係與 HI（N）的變異關係最爲密切，成正比例關係。故欲提高 NE，HI（N）之提高乃爲捷徑。

HI(N)依其定義可以下列各式表示：

$$HI(N) = N(HO)/N(plant) = \sum_{l=s}^{l=m} N(HO)_l/N(plant)$$

即氮的收穫指數可分解爲各生育期所吸收氮素中移入收穫器官之量 $N(HO)_l$，再加以合計（自幼苗期S至成熟期m）求得。

爲計算方便，$\sum N(HO)_l/N(plant)$亦可以下式表示：

$$\sum N(HO)_l/N(plant) = \sum (N(HO)_l/N(plant)_l \cdot N(plant)_l/N(plant))$$

$N(plant)_l$ 爲生育期 i 的氮素吸收量，但爲互相可以比較起見，以該期的平均日吸收量表示（N

g/plant/day)。故 $N(HO)_i/N(plant)_i$ 即為前節報告中各生育期所吸收氮素中移入玉米子實（對各該生育期吸收量）之比率；其值已見於表1，2及3。為綜觀起見，再將其列於表4之第二行。各生育期之氮吸收速率 $N(plant)_i$，及其對全吸收量之比率 $N(plant)_i/N(plant)$ 亦各示於表4之第一及第三行，而 $N(HO)_i/N(plant)_i$ 與 $N(plant)_i/N(plant)$ 之積，$N(HO)_i/N(plant)$ 即成為各生育期氮素吸收對於氮素收穫指數（HI(N)）之相對貢獻。

表 4. 各生育期氮素吸收之速率，吸收氮素之子實分配及氮素收穫指數之相對貢獻。

Table 4. Rate of nitrogen uptake at various growth stage, their distributions to grains and the relative contribution on Nitrogen Harvest Index.

Growth Stage	$N(plant)_i$ [1] (g/plant/day)	$N(HO)_i$/ $N(plant)_i$	$N(plant)_i$/ N(plant)	$N(HO)_i$/ [2] N(plant) $* 10^{-3}$
V_{8-11}	0.19	0.327	0.0147	4.81
V_{15-T}	0.24	0.511	0.0186	9.50
R_{1-2}	0.20	0.584	0.0155	9.05
R_{2-3}	0.16	0.672	0.0124	8.33
R_{4-5}	0.06	0.461	0.0047	2.15

1) 各生育期之氮素吸收速率係由圖2氮素吸收曲線之斜率所求得；另以標識氮肥（^{15}N）在特定生育期所測吸收率值亦與此值大致相同，故從略。本試驗中，$\sum N(plant) = N(plant) = 12.9$(g/plant)。

2) $\sum N(HO)_i/N(plant) = N(HO)/N(plant) = HI(N) = 0.467$.

由表4各生育期之 $N(HO)_i/N(plant)$值可見第16葉期（V_{16}）至乳熟期（R_3），約四週期間之氮素吸收對 HI(N)之提高貢獻最大；該期間之玉米不單氮素吸收能力強，且能有效轉移子實。

田間試驗結果（王、連1986）亦印證吐絲期之氮素追肥有效；即氮肥分基肥、膝高期追肥和雄穗抽出期追肥三次分施者較分基肥和膝高期追肥二次分施者有顯著的增產效果，將以另文報告。又一般施肥方法，基肥係淺施於播種溝旁，追肥亦屬淺施。據試驗結果（Lian 1986，連、王1985），以肥料用量之半量在播種時深施於種子下20～25公分處者，亦可顯著促進生育後期（即吐絲期至成熟期間）之養分吸收，增進該期間之葉片純同化率而有利於產量之增進。

據 Tsai et al.(1985) 玉米耐肥品種在吐絲期後尚需大量的氮素；此時土壤中如無足夠氮素供給，將會分解葉片的氮素成份輸送，致使葉片的機能早衰，收量潛能則無法發揮。渠等(Tsai et al. 1978，1984)強調玉米子粒充實期間之葉片光合成速率係受該期間氮素的供應及子粒的氮素儲能(sink ca-qpacity；氮聚合為 zein 的速率)所限制。玉米子粒充實期間，氮素供應能力(the capacity of the plant to supply N to the ear)之影響大於葉片光合成能力(the capacity of the plant to provide photosynthate to the ear)之影響(Below et al. 1981)。故該期間氮素的不斷吸收供應對於子粒胚的正常發展(adequate and normal embryo development)甚為重要；高產品種在子粒充實期間有持續的氮素吸收，故葉片光合成能力得以持久維持(Swank et al. 1982)，可見子粒充實期間的氮素吸收甚為重要。

但另據石塚等（1967）及岩田（1972），吐絲期後過多的氮素營養對子粒的充實亦有不利。本試驗亦示糊熟期（相當於吐絲後約5星期）所吸收氮素雖仍可顯著轉移谷中，但殘留莖稈和根之比率亦較其前期所吸收者增加；此種殘留莖稈之氮素可能導致植株呼吸消耗之增加而對乾物生產不利。田間試驗結果亦示吐絲期後2星期時之晚期追肥稍有負效果（王、連1986）。

一般田間試驗結果均示玉米收量構成要素中以子粒與收量之關係最為密切，而千粒重（及子實中之氮素含量）則常保持一定，少有變異。但本試驗中之玉米，千粒重和氮素含量卻高於田間者甚多（

千粒重各爲322及275g，氮含量各爲2.1及1.7%）。Tsai et al.（1984）亦示耐肥品種玉米子 之氮素含量因子粒充實期間之氮素供給充分而增加甚多。此是否表示在良好的氮素營養下，經由千粒重及氮素含量之提高而提高產量和品質亦是可能，值得注意。

參考文獻

1. Below F. E., L.E. Christensen, A.J. Reed and R.H. Hagemen 1981. Availability of reduced N and carbohydrate for ear development of maize. Plant Physiol.68：1186—1190。
2. Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. Agron. J. 54：217—222.
3. Ishizula, Y. 1980. The importance of nitrogen for the growth of the rice plant. In "Increasing Nitrogen Efficiency for Rice cultivation" FFTC Book series No. 18.
4. Lian, S. 1986. Characteristics of corn production in the drained paddies and their fertility managements in Taiwan. Soils and Fertilizers in Taiwan 1986. The society of soil and Fertilizer Sciences of Republic of China.
5. Peteterson, L. A. and G. Chesters 1964. A reliable total nitrogen determination on plant tissue accumulating nitrate nitrogen. Agronon Journal 56：89—90.
6. Singh J. N. and N. Murayama 1963. Analytical Studies on the productive efficiency of nitrogen in rice. Soil Sci. & Plant Nutri. 9：151—161.
7. Swank, J. C. F. E. Below, R. L. Lambert and R. H. Hageman 1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiol. 70：1185—1190.
8. Tanaka, A., J. Yamaguchi, S. Miura, and H. Tamaru. 1984. Comparison of fertilizer nitrogen efficieney among field crops. Soil Sci. Plant Nutr. 30：199—208.
9. Tsai, C. Y., D. M. Huber and H.L. Warren 1978. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. Crop Sci. 18(3)：399—404.
10. Tsai, C.Y., D. M. Huber and H.L. Warren. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. Plant Physiol. 66：330—333.
11. Tsai, C. Y., D. M. Huber, D. V. Glover and H. L. Warren 1984. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrids. Crop Sci. 24：277—281.
12. Tsai C. Y., H. L. Warren and D. M. Huber. 1985. Interactions of nitrgen nutrition and maize genotypes. Dept. Botany and Plant pathology, Purdue University, W. Lafayette, U.S.A.
13. Yoshida, S., D. F. Forno and J. H. Cook. Laboratory Manual For Physiological Studies of Rice. PP.53—57. The International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
14. 王鐘和、連深 1986 玉米雄穗抽出期及子粒充實期氮素追肥對子實產量之效果。臺灣省農業試驗所75年度工作報告。
15. 木村次郎、千葉春雄 1943 窒素養分の水稻生產能率に對する吸收經過による分解的研究。日本土壤肥料學雜誌 17：479—497.
16. 石塚喜明、金雄桂 1967 トウモロコシの營養生理學的研究（第一報）。生育に伴う同化產物の生成と養分吸收に關する研究。日本土壤肥料學雜誌 38：407—412.
17. 田中明、石塚喜明 1969 同上第二報 生育の展開にともなう無機養分すよび碳水化合物の集積移動經過。日本土壤肥料學雜誌 40：113—120.
18. 岩田文男 1972 トウモロコシの栽培理論とその實證に關する作物學的研究。東北農業試驗研究報告第46號。P 63—123.
19. 連深、王鐘和 1988 轉作田玉米生育特性及肥培管理，I.子實收量之期作間和土壤間差異及有關因素。中華農業 37(1)：32—44.
20. 連深 1988 轉作田玉米生育特性及肥培管理，II.播植行深犁及肥料深施之效果。中華農業 37(2)：151—164.

Behaviour of Nitrogen Absorbed at Various Growth Stages Associated with Grain Production in Maize

Shen Lian and Geng-Peng Chang

Summary

Rate of uptake, distribution and remobilization in maize (cultivar TNG 351) of the labelled N applied in the form of $^{15}NH_4\,^{15}NO_3$ at various growth stages were studied in connection with grain production under water culture condition.

1. The rate of uptake increased as the growth progressed and was at its peak just before silking. The uptake, though slowed down gradually after silking, still kept a moderate rate until dough stage.

2. The nitrogen absorbed by silking accumulated mostly in the leaves and culms that were growing when the nitrogen was absorbed. A part of these nitrogen was retranslocated to the ear after silking : the distribution in grain at harvest was 33% of the original amount of uptake.

3. The nitrogen absorbed during the period from silking to blister stage was translocated most efficiently to the grains; up to 58~67% of the original uptake was distributed to the grain.

4. Although nitrogen uptake slowed down during dough stage, a considerable portion of the nitrogen absorbed (46%) still translocated to the grain. The percentage, however, was less as compared to that absorbed during silking, while that which remained in the stem and root increased.

5. All of the above indicates that the nitrogen uptake during silk stage is very efficient for grain production. This is quite coincided with the results of field experiments, which show usually a positive effect of top dressing at this stage.

Although the nitrogen absorbed during dough stage is still translocated to grain considerably, that which remained in stem and root is increased, which may be unfavorable for the dry matter production at this stage. The results of field experiments also show frequently a negative effect of nitrogen top-dressing at this stage.

Key Words : maize, labelled N, uptake and distribution, grain production.

---

1. Contribution No. 1564 from Taiwan Agricultural Research Institute, This study was supported in part by a grant(NSC 75—0409—13055—06) from National Science Council Executive Yuan,ROC.
2. Rerpectively, Soil Scientist and Assistant Soil Scientist, Department of Agricultural Chemistry,TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan 41301, ROC.